第 27 卷　第 5 期　2015 年 9 月
腐蚀科学与防护技术
CORROSION SCIENCE AND PROTECTION TECHNOLOGY
Vol.27　No.5　Sep.　2015

经验交流

IR降对埋地管线阴极保护电位影响规律研究

李　明[1]　薛润斌[2]　鲜　俊[2]　杨　圃[2]　段建国[2]　许　进[3]

1. 中国石化抚顺石油化工研究院　抚顺　113001;
2. 中国石油新疆油田油气储运公司　克拉玛依　834002;
3. 中国科学院金属研究所材料环境腐蚀研究中心　沈阳　110016

摘要：针对新疆油田油气储运公司管线IR降对埋地管线阴极保护电位影响进行现场测量和研究。结果表明，土壤IR降严重影响埋地管线阴极保护电位的测量和评价，消除IR降后的管地电位能有效的对阴极保护效果进行评价。建议定期对所有埋地管线进行消除土壤IR降的测量，以确保各埋地管线阴极保护电位的正确施加和调试，从而确保埋地管线的安全运营。

关键词：埋地管线　阴极保护电位　IR降　油田　电位测量

中图分类号：TE985　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1002-6495(2015)05-0519-06

1 前言

管/地电位 (管道相对于参比电极电位差) 是反映管道阴极极化程度和保护效果的重要参数。然而在保护电位测量过程中总会存在由于土壤介质而产生的电压降误差，即IR降误差[1]。通常现场所测量的管/地电位并不等于管道真实的对地电位，而是含有IR降这一有害误差[2]。IR降是重要的阴极保护电位测量参数。在测量金属构筑物对环境介质的电位 (如管/地电位) 时，总是存在着IR降分，只有消除该IR降才能正确分析阴极保护电位真实值。IR降的数值根据介质电阻大小可以达到几毫伏甚至几千毫伏，这都将致使管道阴极保护电位测量的失真，从而影响阴极保护的有效性。对于长距离埋地管道而言，由于破损涂层中石粒和腐蚀产物的遮蔽作用而产生了遮蔽电阻，以及管道周围的本体土壤电阻都会产生一定的IR降。因此，即使用常规方法测得的管-地电位已经达到或超过了最小保护电位，即表观管道已处于保护状态，但真实的管地电位并没有达到最小保护电位，管道表面仍会出现明显的腐蚀[3-5]。

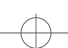
上世纪50、60年代国外学者就已经对IR降所产生的影响进行了相关的调查和研究。德国PLE公司曾在20世纪60年代对所属管道进行了土壤IR降的现场调查和研究。结果发现即使阴极保护电位达到−0.85 V ($Cu/CuSO_4$)，管道腐蚀仍很严重。随后通过消除IR降的方法，重新对该管道进行了评价，结果发现有近40 %的管道达不到真正的阴极保护电位。在对黄夹克管线进行测量时还发现由于其绝缘电阻很大，所测得保护电位偏移更多，最大甚至超过2.0 V。1972年修订的NACE标准 (RP-01-69和RP-01-76) 中就明确指出了IR降的重要性。Toncre[6]对已达到阴极保护标准的管道进行了现在的调查。发现低电阻环境中土壤IR降最大达到1 V，而高电阻率环境中IR降最大可达到5 V。贝克曼[7]对电阻率为140 Ω·m土壤环境中阴极保护管道进行了IR降的测量，结果发现所测管道管地电位达到−1.8 V，而管道实际电位仅为−0.56 V。通过现场开挖发现管道表面已经发现严重的腐蚀。国内学者早在上世纪80年代已经对IR降产生的影响进行了相关的报道[8]，但直到上世纪90年代才有学者进行相关的研究工作，大多都是针对理论方面进行研究说明解释[2-4,9]，对于埋地管线土壤IR降实际影响的研究却罕有报道。以上研究表明由于IR降所引起的测量电位的不准确性将严重影响埋地管线阴极保护电位参数的设定，进而影响管线的正常运行。

本文通过瞬时断电法和现场埋片法对新疆油田油气储运公司所属管线 (92#站-克炼D426油管线和夏子街-百联站D273天然气管线) IR降进行现场测量和研究。

2 实验方法

本文选用16Mn钢为实验材料，具体成分 (质量分数，%) 为：C 0.15，Mn 1.36，Ni 0.24，Si 0.41，P 0.022，S 0.027，Cr 0.26，Cu 0.21，Fe 余量。

定稿日期：2015-05-11
基金项目：中国石油化工集团公司项目 (314033)，国家自然科学基金项目 (51471176) 资助
作者简介：李明，男，1982年生，工程师，博士
通讯作者：许进，E-mail：xujin@imr.ac.cn，研究方向为土壤腐蚀与防护
DOI：10.11903/1002.6495.2015.135



将失重试样分为两组，每组3个，其中一组通过导线与管线连接后埋藏于土壤中，另一组直接埋藏于土壤中。试样尺寸为：100 mm×500 mm×5 mm。实验后将试样在500 mL盐酸+500 mL蒸馏水+20 g六次甲基四胺溶液中除去试样表面的腐蚀产物。经水洗，吹干后，在分析天平上称重，精确到0.1 mg，计算出试样的腐蚀失重。

在管线整条线路上所有的恒电位仪阴阳极输出端分别安装一个同步的阴极保护断电器，进行通/断电控制。采用DT830数字万用表 (内阻大于1 MΩ)，硫酸铜参比电极；参照GB/T21246-2007《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》，采用通电时间12 s，断电时间3 s的方式进行IR降的测量，同时对断电0.5 s后的管地电位值作为真实阴极保护电位进行评价。

3 结果与讨论

3.1 瞬时断电法测量

3.1.1 92#站-克炼站D426油管线　92#站-克炼站D426油管线采用黄夹克防腐保温方式，管线穿越土质为戈壁土。在92#站和克炼站两处分别设置了阴极保护防腐仪，采取外加阴极电流方式同时对整条管线进行阴极保护。本次测量同时在两处阴极保护防腐仪上安装了瞬时断电器，断电器安装于恒电位仪和辅助阳极之间。对管线7个测试点的通电电位、断电电位、IR降值分别进行了测量。表1为92#站-克炼站D426油管线各测量点通电电位、断电电位及IR降测量结果，图1为部分测试点瞬时断电法测量结果图，图2为92#站-克炼站D426油管线各测试点通/断电管地电位对比图。从图1中可以看出，92#站-克炼站D426油管线10 km测试桩的通电及断电电位都达到了阴极保护的标准。从表1和图2中可以看出，无论是通过近地参比法还是瞬时断电法所测得的各测试点都达到阴极保护标准，即管地电位负于−0.85 $V_{vs\ CSE}$。虽然各测试点已经达到了阴极保护的标准，但是从表1中还可以看出，7个测试点中，有5个测试点的阴极保护电位已经负于−1.25 V，并且IR降平均值为178 mV，最大值达到了247 mV，最小值也达到了97 mV。上述结果表明，该管线所经过土壤环境产生的土壤IR降对正常的管道阴极保护评价造成了巨大的影响，如果通电点电位无法加载大阴极保护电流，那么埋地管线将无法受到正常的阴极保护。

3.1.2 夏子街-百联站D273天然气管线　夏子街-百联站D273天然气管线采用沥青玻璃丝布保温防腐方式，管线穿越土质为戈壁土。在夏子街站、百

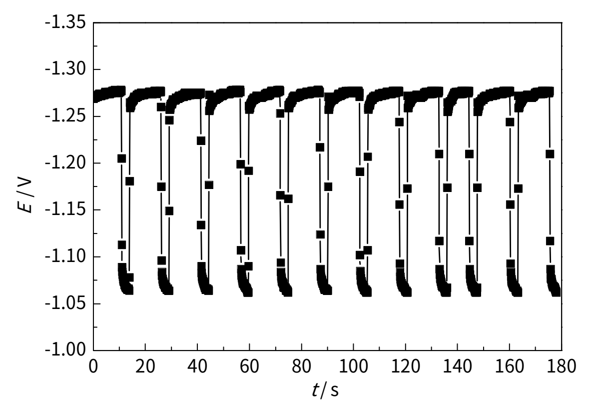


图1 92#站-克炼站D426油管线10 km测试桩的通电及断电电位测试结果

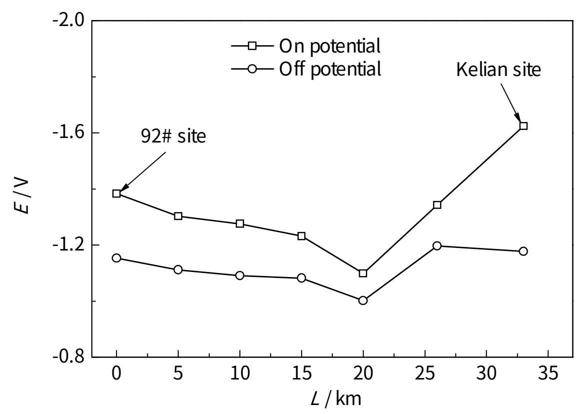


图2 92#站-克炼站D426油管线通电及断电电位测试结果

表1 92#站-克炼站D426油管线IR降测试结果

测试桩位置 / km	通电电位 / V	断电电位 / V	IR降 / mV	土壤电阻率 / Ω·m^{-1}
0 (92#站通电点)	−1.383	−1.153	230	10.5
5	−1.303	−1.112	191	12.3
10	−1.276	−1.091	185	8.6
15	−1.232	−1.082	150	7.8
20	−1.099	−1.002	97	10.3
26	−1.343	−1.197	146	8.3
33 (克炼站通电点)	−1.424	−1.177	247	6.3

联站,乌尔禾站三处分别设置了阴极保护防腐仪,采取外加阴极电流方式同时对整条管线进行阴极保护。本次测量同时在三处阴极保护防腐仪上安装了瞬时断电器,断电器安装于恒电位仪和辅助阳极之间。对管线14个测试点的通电电点、断电电位、IR降值分别进行了测量。表2为夏子街-百联站D273天然气管线各测量点通电电位、断电电位及IR降测量结果,图3为部分测试点管地电位瞬时断电法测量结果图,图4为夏-百线各测试点通/断电管地电位对比图。从图3可以看出,夏子街-百联站D273天然气管线6km测试桩的通电及断电电位都达到了阴极保护的标准;夏子街-百联站D273天然气管线9 km测试桩的通电电位达到了阴极保护的标准,而断电电位未达到阴极保护的标准;夏子街-百联站D273天然气管线25 km测试桩的通电及断电电位都未达到阴极保护的标准。从表2和图4中可以看出,通过近地参比法所测得的各测试点中,除了4个测试点(15,20,25和56 km)未达到阴极保护标准,其它测试点基本达到了阴极保护的标准电位值,管道阴极保护率为71.4%。通过瞬时断电法测得的各测试点中,仅有6个测试点达到了阴极保护的标准电位值,其中还包括3个通电点,管道阴极保护率仅为42.8%。从表2中还可以看出,14个测试点中,IR降平均值为169 mV,最大值达到了379 mV,最小值也达到了78 mV。上述结果表明,该管线所经过土壤环境产生的土壤IR降对正常的管道阴极保护评价造成了巨大的影响。

3.2 失重法

表3为92#站-克炼D426油线和夏子街-百联站D273天然气管线各试片腐蚀失重测量结果。从表中可以看出,各个埋样点通电试样腐蚀速率和未通电腐蚀速率差别较大。随着阴极保护电位的逐渐正移,通电试样的腐蚀速率逐渐增大,与未通电试样腐蚀速率差距逐渐减小,这表明阴极保护电位严重影响了管道裸露处金属的腐蚀。利用通电试样腐蚀速率和未通电试样腐蚀速率通过下式(式2)计算得到

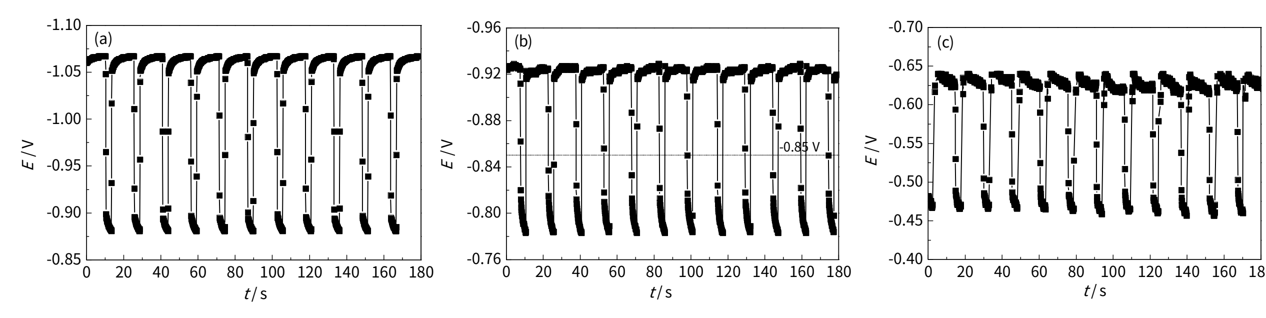


图3 夏子街-百联站D273天然气管线6 km (a), 9 km (b) 和25 km (c) 测试桩的通电及断电电位测试结果

表2 夏子街-百联站D273天然气管线IR降测试结果

测试点位置 / km	通电电位 / V	断电电位 / V	IR降 / mV
0 (夏子街站通电点)	−1.470	−1.091	379
6	−1.055	−0.895	160
9	−0.926	−0.808	117
15	−0.682	−0.604	78
20	−0.641	−0.522	119
25	−0.623	−0.481	142
32	−1.034	−0.878	156
36 (乌尔禾防腐仪通电点)	−1.137	−0.952	185
43	−0.997	−0.834	163
50	−0.890	−0.758	132
56	−0.785	−0.689	96
60	−0.885	−0.734	151
64	−1.222	−0.993	229
67 (百联站通电点)	−1.454	−1.193	261

试片阴极保护效率，结果见表3。

$$\eta = \frac{W_{未通电} - W_{通电}}{W_{未通电}} \times 100\% \tag{1}$$

从表中还可以看出，对于92#站到克炼D426油线各测试点，由于各点断电电位都达到了阴极保护

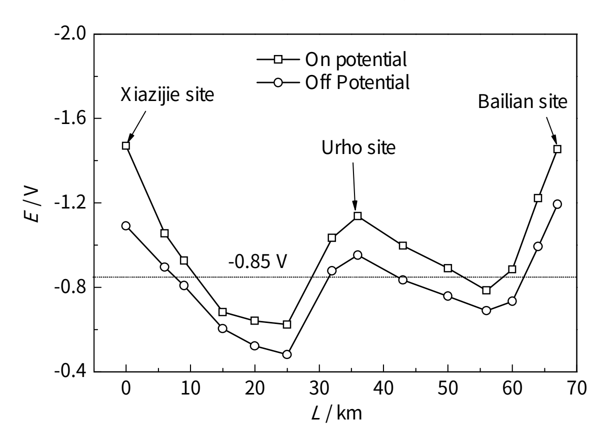


图4 夏子街-百联站D273天然气管线各测试点通/断电管地电位对比图

的标准，因此试片阴极保护效率较高，都达到了92%以上。对于夏子街-百联站D273天然气管线各测试点，断电电位和试片阴极保护效率呈正相关性，随着断电电位的增大，试片阴极保护效率呈减小的趋势。当断电电位负于−0.85 V时，阴极保护效率变化较小，阴极保护效率都在85%以上，当断电电位正于−0.85 V时，阴极保护效率急剧降低，最小值仅为27%。上述结果表明，通过瞬时断电法测量所得的管地电位能够较准确的反映埋地管线受保护程度。

图5为不同阴极保护程度试样埋藏1 a的宏观腐蚀照片。从图5a和b中可以看出，92#站到克炼D426油线5 km和夏子街-百联站D273天然气管线6 km两处通电试片经过1 a的埋藏试样表面仍具有明显的金属光泽，而未通电试片发生了严重的腐蚀，表面覆盖厚厚的腐蚀产物层。这主要是由于此两处测试点的断电电位都负于−0.85 V，因此试片受到了较好的阴极保护。从图5c中可以看出，夏子街-百联

表3 92#站-克炼站油管线和夏子街-百联站气管线各试片腐蚀失重测量结果

管线名称	埋片位置 / km	断电电位 / V	通电试片平均腐蚀速率 / mm·a^{-1}	未通电试片平均腐蚀速率 / mm·a^{-1}	试片阴极保护效率 / %
92#站到克炼D426油线	0 (92#站通电点)	−1.153	0.0092	0.1973	95.3
	5	−1.112	0.0104	0.2307	95.5
	10	−1.091	0.0122	0.2506	95.1
	15	−1.082	0.0147	0.2437	94
	20	−1.002	0.0177	0.2238	92.1
	26	−1.197	0.0112	0.2311	95.2
	33 (克炼站通电点)	−1.177	0.0101	0.2231	95.5
夏子街-百联站D273天然气管线	0 (夏子街站内通电点)	−1.091	0.0098	0.0962	89.8
	6	−0.895	0.0184	0.1252	85.3
	9	−0.808	0.0736	0.1286	42.8
	15	−0.604	0.1007	0.1304	22.8
	20	−0.522	0.0964	0.1341	28.1
	25	−0.481	0.1024	0.1402	27
	32	−0.878	0.0207	0.1381	85
	36 (乌尔禾防腐仪通电点)	−0.952	0.0156	0.1366	88.6
	43	−0.834	0.0652	0.1307	50.1
	50	−0.758	0.0936	0.1409	33.6
	56	−0.689	0.0825	0.1323	37.6
	60	−0.734	0.0904	0.1419	36.3
	64	−0.993	0.0145	0.1392	89.6
	67 (百联站通电点)	−1.193	0.0084	0.0916	90.8

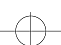
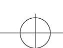


图5 92#站到克炼D426油线5 km (a), 61 cm (b), 91 cm (c) 和251 cm (d) 处阴极保护 (a1, b1, c1, d1) 和自然埋藏试片 (a2, b2, c2, d2) 宏观照片对比图

站D273天然气管线9 km处通电试片经过1 a的埋藏试样表面部分已经发生腐蚀，局部表面覆盖着腐蚀产物。未通电试片发生了严重的腐蚀。这主要是由于该处阴极保护电位未达到阴极保护标准，但仍有部分阴极电流流入，这样就使得该试片受到一定的阴极保护，但保护程度相对较弱。从图5d中可以看出，夏子街-百联站D273天然气管线25 km处经过1 a的埋藏通电和未通电试片表面都发生了严重的腐蚀。这主要是由于通电试片断电电位接近自然腐蚀电位，表明通电试片未受到阴极保护的影响。从表3中可以看出，92#站到克炼D426油线5 km和夏子街-百联站D273天然气管线6 km两处断电电位分别为−1.112和−0.895 V，达到了阴极保护电位的标准，因此通电试样受到了较好的阴极电流的保护；夏子街-百联站D273天然气管线9km处断电电位为−0.808 V，未达到阴极保护电位的标准，但与阴极保护标准电位相差不大，因此通电试样也受到了一定的阴极电流的保护，但保护程度相对较差；夏子街-百联站D273天然气管线25 km处断电电位仅为−0.481 V，未达到阴极保护电位的标准，且与阴极保护标准电位相差较大，因此通电试样并未受到的阴极电流的保护。

4 结论

(1) 在油田现场埋地管线阴极保护测量中，忽略了土壤介质中IR降的影响，所得到阴极保护电位会明显偏离真实的阴极保护电位，若以此来判定埋地管线真实的阴极保护状况，必将会造成严重偏差，进而影响埋地管线的正常运营。



(2) 通过瞬时断电法不仅可以有效地消除测量中由于土壤产生的IR降的影响，而且能够准确控制埋地管线阴极保护电位及正确评价埋地管线的阴极保护效率。

(3) 建议对油田所有埋地管线定期进行消除IR降的测量，并针对不同土壤环境建立相应的土壤IR降标准，为埋地管线阴极保护电位的校正及阴极保护效率的正确评价提供指导。

参考文献

[1] NACE Standard RP-01-69. Recommended practice control of external corrosion on underground of submerged metallic piping system [S]. NACE Houston, TX, 1983

[2] 胡士信. 阴极保护电位测量中的IR降及其研究 [J]. 石油规划设计, 1992, 3(3): 50

[3] 翁永基, 李相怡. 埋地管道阴极保护电位IR降评估方法的研究 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(6): 360

[4] 常守文, 张莉华, 李绍忠. 埋地涂层金属管道电位测量中的IR降影响及消除 [J]. 油气储运, 1989, 8(3): 38

[5] Bushman J B, Rizzo F E. IR drop in cathodic protection measurement [J]. Mater. Perform., 1978, 17(7): 343

[6] Toncre A C. On achieving polarization beneath unbonded pipe coatings [J]. Mater. Perform., 1984, 23(8): 22

[7] W. V. 贝克曼著. 胡士信译. 阴极保护手册 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1990

[8] 杰米斯.B.巴斯曼, 费南克.E.雷诺, 唐明华译. 阴极保护测量中的IR降 [J]. 石油施工技术, 1982, 8(6): 50

[9] 颜达峰, 刘乃勇, 袁鹏斌等. 消除IR降的阴极保护电位测量方法及实际应用 [J]. 煤气与热力, 2013, 33(8): b01

